

Розробка математичних моделей вибору оптимальних режимів та перспективного розвитку системо утворюючих зв'язків енергосистем України
Разработка математических моделей выбора оптимальных режимов и перспективного развития системообразующих связей энергосистем Украины
Development of mathematical models of choice of the optimum modes and perspective development of system connections of grids of Ukraine

1. **Номер державної реєстрації теми - 0110U000268**
2. **Науковий керівник - к.т.н., проф. Сулейманов В.М., Сулейманов В.Н., V. Suleymanov.**
3. **Суть розробки, основні результати.**
(укр.)

Суть розробки полягає у створенні специфічного математичного апарату, за допомогою якого можна здійснювати розв'язання задач оптимізації робочого режиму системоутворюючої мережі дальніх ліній електропередач надвисокої напруги з урахуванням рівномірного розподілу параметрів вздовж довжини таких ліній та оцінювання особливостей хвильових процесів при передаванні по них електричної енергії. Явище відставання по фазі миттєвих значень напруг та струмів в кінці дальніх ліній електропередач внаслідок обмеженості швидкості поширення електромагнітної хвилі вздовж лінії електропередач визначає суттєве викривлення результатів розв'язання оптимізаційних задач аналізу робочих режимів системоутворюючої мережі Об'єднаної енергосистеми України із застосуванням традиційних математичних моделей.

Створено спеціальні математичні моделі вибору оптимальних робочих режимів та шляхів розвитку електричних систем, які містять складнозамкнену системоутворюючу мережу ліній електропередач надвисокої номінальної напруги. Розроблено математичні моделі визначення структурної зв'язності системоутворюючої мережі Об'єднаної енергосистеми України з урахуванням нових зв'язків надвисокої номінальної напруги. Створено нові математичні моделі оптимізації режимних характеристик системоутворюючої мережі Об'єднаної енергосистеми України з урахуванням фізики хвильових процесів в лініях електропередач надвисокої номінальної напруги. Розроблено математичні моделі та методи визначення законів оптимального регулювання режимних параметрів системоутворюючої мережі Об'єднаної енергосистеми України з урахуванням існуючих технологічних обмежень. Розв'язано низку задач, пов'язаних із застосуванням математичних моделей ліній електропередач із розподіленими параметрами при оптимальному перерозподілі потоків реактивної потужності та оптимальному регулюванні напруги у вузлових точках складнозамкненої системоутворюючої мережі вищих класів номінальної напруги.

(рос.)

Суть разработки заключается в создании специфического математического аппарата, предназначенного для решения задач оптимизации рабочего режима системообразующей сети магистральных линий электропередачи сверхвысокого напряжения с учетом равномерного распределения параметров вдоль длины таких линий и оценивания особенностей волновых процессов при передаче по ним электрической энергии. Явление отставания по фазе мгновенных значений напряжения и тока в конце протяженных линий электропередач вследствие ограниченности скорости распространения электромагнитной волны вдоль линии электропередачи определяет существенное искажение результатов решения оптимизационных задач анализа рабочих режимов системообразующей сети Объединенной энергосистемы Украины с использованием традиционных математических моделей.

Созданы специальные математические модели выбора оптимальных рабочих режимов и путей развития электрических систем, содержащих сложнзамкнутую системообразующую сеть линий электропередачи сверхвысокого номинального напряжения. Разработаны математические модели определения структурной связности системообразующей сети Объединенной энергосистемы Украины с учетом новых связей сверхвысокого номинального

напряжения. Созданы новые математические модели оптимизации режимных характеристик системообразующей сети Объединенной энергосистемы Украины с учетом физики волновых процессов в линиях электропередачи сверхвысокого номинального напряжения. Разработаны математические модели и методы определения законов оптимального регулирования режимных параметров системообразующей сети Объединенной энергосистемы Украины с учетом существующих технологических ограничений. Решен ряд задач, связанных с использованием математических моделей линий электропередач с распределенными параметрами при оптимальном перераспределении потоков реактивной мощности и оптимальном регулировании напряжения в узловых точках сложнзамкнутой системообразующей сети высших классов номинального напряжения.

(англ.)

The working out essence consists in creation of the specific mathematical apparatus intended for the decision of problems of optimization of operating conditions of a backbone network of the main ExtraHVAC transmission lines taking into account uniform distribution of parameters along length of such lines and estimation of features of wave processes by transfer on them of electric energy. The backlog phenomenon on a phase of instant values of voltage and a current in the end of extended electric mains owing to limitation of speed of distribution of an electromagnetic wave along a transmission line defines essential distortion of results of the decision of optimizing problems of the analysis of operating conditions of a backbone network of the Electric power system of Ukraine with use of traditional mathematical models.

Special mathematical models of a choice of optimum operating conditions and ways of development of the electric systems containing a backbone network of ExtraHVAC transmission lines are created. Mathematical models of definition of structural connectivity of a backbone network of the Electric power system of Ukraine taking into account new ExtraHVAC transmissions are developed. New mathematical models of regime characteristics optimization of a backbone network of the Electric power system of Ukraine with the account of physics of wave processes in ExtraHVAC transmission lines are created. Mathematical models and methods of definition of laws of optimum regulation of regime parameters of a backbone network of the Electric power system of Ukraine taking into account existing technological restrictions are developed. Some problems connected with use of mathematical models of electric mains with distributed parameters at optimum redistribution of streams of jet capacity and optimum regulation of voltage in central points of a ExtraHVAC backbone network is solved.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Патент на корисну модель. Спосіб регулювання режиму роботи мережі ліній електропередач / Сулейманов В.М., Кацадзе Т.Л., Горська Є.О., Титар А.М. – № заявки u 2011 06977 від 02.06.2011.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. На відміну від існуючих аналогів у світовій практиці розроблені математичні моделі та методи оптимізації робочих режимів розгалужених електричних мереж дальніх ліній електропередач надвисокої напруги враховують хвильові процеси в системоутворюючих протяжних лініях електропередач надвисокої напруги

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених математичних моделей та методів вибору оптимальних режимів напруги та реактивної потужності в мережах магістральних ліній електропередач надвисокої номінальної напруги дозволяє знизити втрати енергії на її транспортування. Проведені експериментальні розрахунки лише для одного вузла основної мережі Об'єднаної енергосистеми України показали можливість зниження втрат потужності до 30 МВт в режимі максимальних навантажень. Це відповідає річній економії електричної енергії близько 90 млн. кВт·год.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Результати розробок можуть бути впроваджені в інституті «Укрмереженергопроект», Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України, Інституті електродинаміки НАН України, Інституті загальної енергетики НАН України та різноманітних державних інституціях, які розроблюють стратегічні методології та технології розвитку енергосистем України, в системі підготовки фахівців, використані в навчальному процесі при підготовці спеціалістів.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені нові математичні моделі та методи оптимізації режимів напруги та реактивної потужності в мережах магістральних ліній електропередач з урахуванням хвильових процесів передавання електричної енергії по таким лініям. Можлива розробка спеціалізованих обчислювальних комплексів, призначених для визначення характеристик оптимальних режимів роботи системоутворюючих електричних мереж надвисокої напруги енергооб'єднання України. Такі комплекси будуть направлені на обґрунтування проектних та експлуатаційних рішень в області регулювання робочих режимів основної мережі ОЕС України, дозволять реалізувати розрахунки оптимальних режимів напруги та реактивної потужності в опорних точках електричної мережі, підвищити рівень керованості і надійності функціонування системоутворюючих мереж при мінімізації витрат енергоресурсів

9. Існуючі результати впровадження.

Результати розробок методи та моделей вибору оптимальних робочих режимів мереж магістральних ліній електропередач впроваджено в навчальний процес на кафедрі електричних мереж та систем. Розроблено нові розділи «Сучасні підходи до вирішення проблем регулювання робочих режимів протяжних електропередач за напругою та реактивною потужністю» та «Рациональне регулювання режимів електропередач надвисокої напруги з урахуванням технічних обмежень за рівнями напруги та реактивної потужності» в навчальному курсі «Регулювання робочих режимів електричних систем», новий розділ «Математичні моделі оптимізації розгалужених мереж ліній електропередач надвисокої напруги» навчального курсу «Математичні моделі електричних систем», новий курс лекцій «Оптимальне керування спеціальними режимами дальніх електропередач», новий цикл лабораторних робіт «Дослідження робочих режимів розгалужених мереж дальніх ліній електропередачі».

10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ «КПІ», факультет електроенерготехніки та автоматики, кафедра електричних мереж та систем, тел. (044) 406-84-74, e-mail: kafedra_es@fea.kpi.ua

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Сулейманов В.Н., Кацадзе Т.Л. Исследование распределения напряжения и токов вдоль длины протяженной электропередачи // Энергия - XXI век, Воронеж. 2010 - №3
2. Сулейманов В.Н., Кацадзе Т.Л., Баженов В.А. Исследование влияния вставок постоянного тока на структурные свойства электрических систем // Энергия - XXI век, Воронеж. 2010 - №3
3. Баженов В.А. Использование метода ветвей и границ для оптимизации развития больших систем энергетики // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами». Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2010, с. 164-165
4. Баженов В.А. Використання методу гілок і границь для оптимізації розвитку електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії // Відновлювана енергетика XXI століття. Матеріали XI Міжнародної конференції
5. Кацадзе Т.Л., Ткачук Т. Формування розрахункових моделей усталеного режиму електричної системи методом дуальних схем // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 74-75

6. Кацадзе Т.Л., Губатюк О. Основные положения применения методов диакоптики для формирования расчетных моделей установившихся режимов электрических систем // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 96-98
7. Кацадзе Т.Л., Губатюк О. Формирование общих алгоритмов расчетных моделей установившихся режимов электрических систем с применением методов диакоптики // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 99-100
8. Кацадзе Т.Л., Титар А.М. Оптимальное регулирование режима реактивной мощности в сети протяженных линий электропередач, имеющих общую узловую точку, при наличии ограничений по располагаемой реактивной мощности // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 111-113
9. Кацадзе Т.Л., Титар А.М. Оптимальное совместное регулирование режима напряжения и реактивной мощности в сети протяженных линий электропередач, имеющих общую узловую точку, при наличии ограничений по располагаемой реактивной мощности // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 113-115
10. Сулейманов В.М., Наконечный А.О. Аналіз та перспективний розвиток схем взаємодії розосереджених споживачів з постачальниками електричної енергії // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 95
11. Сулейманов В.Н., Горская Е.А. Рациональное регулирование режима напряжения в узловой точке сети протяженных линий электропередач // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 101-102
12. Сулейманов В.Н., Горская Е.А. Оптимальное регулирование реактивных мощностей в сети протяженных линий электропередач, объединенных в одной узловой точке // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 102-103
13. Сулейманов В.Н., Горская Е.А. Совместное оптимальное регулирование напряжения и режима реактивной мощности в сети протяженных линий электропередач, имеющих общую узловую точку // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 104-105
14. Баженов В.А., Зеленов Д.А. Единая графическая электронная модель электрической сети энергосистемы // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: "Політехніка", 2010, - с. 119-122
15. Баженов В.А., Янковская Е.М., Залозный И.В. Определение оптимальных мест расположения тепловых электрических станций // Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. К.: "Політехніка", 2010, - с. 130-132

16. Баженов В.А. Питання оптимізації режимів електричних мереж по реактивній потужності та напрузі // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник.-Чернігів: ЧДТУ, 2011-№1(47), с.62-66.
17. Баженов В.А. Вопросы моделирования сетей при оптимизации развития больших систем энергетики // IX Международная научно-практическая конференция "Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями программами и проектами".-Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского "Харьковский авиационный институт", 2011, с.257-259.
18. Баженов В.А. Застосування методу динамічного програмування для оптимізації розвитку мереж енергосистем з відновлюваними джерелами енергії // Відновлювана енергетика ХХІ століття. Матеріали ХІІ Міжнародної конференції. – АР Крим, 12-16 вересня 2011, с.58-61.
19. Баженов В.А., Черкасский О. Використання методу економічних інтервалів потужності при розв'язанні задачі оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
20. Баженов В.А., Залозний І. В. Питання побудови функцій оптимальних витрат для трансформаторів напругою 110 кВ // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
21. Сулейманов В. Н., Баженов В. А., Кацадзе Т. Л. Исследование влияния вставок постоянного тока на структурные свойства электрических систем // Матеріали І-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Оптимальне керування електроустановками» (ОКЕУ-2011). Вінниця 2011.
22. Сулейманов В. М., Кацадзе Т. Л. Математичні моделі оптимізації робочих режимів розгалужених мереж протяжних ліній електропередачі // Матеріали І-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Оптимальне керування електроустановками» (ОКЕУ-2011). Вінниця 2011.
23. Сулейманов В. Н., Баженов В. А., Кацадзе Т. Л. Оптимізація робочих режимів електричних мереж системоутворювальних ліній електропередач надвисокої номінальної напруги // Матеріали 2-ої науково-практичної конференції «Підвищення ефективності роботи електричних мереж». Чернігів 2011
24. Кацадзе Т.Л., Вайнштейн А.Б. Технологии гибких систем передач переменного тока // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
25. Сулейманов В.М., Бахмачук С.В., Наконечний А.О. Управління та автоматизація роботи розосереджених споживачів-генераторів теплової енергії з теплоаккумуляцією // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
26. Сулейманов В.М., Притискач Я.В., Дуплик В.С. Розробка лабораторного стенду і методики дослідження законів регулювання напруги на шинах споживачів в електричних мережах напругою 10-35 кВ // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
27. Сулейманов В.М., Притискач Я.В., Дуплик В.С. Розробка лабораторного стенду і методики дослідження покриття системного графіка навантаження електричної системи // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
28. Кацадзе Т.Л., Чмель В.В., Назарова М.О. Database elements of automatic design systems for overhead transmission lines // Сучасні проблеми електроенерготехніки та

автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.

29. Кацадзе Т.Л., Захаров Ю., Захаров С. Розробка елементів систем автоматизованого проектування повітряних ліній електропередач // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
30. Кацадзе Т.Л., Мудрик В.А. Перспективы использования стальных многогранных опор в конструкциях воздушных линий // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
31. Сулейманов В.М., Білан М.А., Дуплик В.С. Способи усунення вищих гармонік в розподільчих електричних мережах низької напруги України // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
32. Кацадзе Т.Л., Губатюк О.С. Оценка режима работы электрической сети при помощи теории нечеткой логики // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.
33. Сулейманов В.М., Чижевський В.В., Є. Хань Розрахунок опорів незалежних контурів, що містять зв'язки трансформації, з використанням апарату матричної алгебри // Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. Матеріали науково-технічної конференції молодих учених аспірантів і студентів.